



**(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ Off nI gungsschrift
⑩ DE 100 06 800 A 1

⑤ Int. Cl.⁷:
G 02 B 21/00

DE 100 06 800 A 1

(21) Aktenzeichen: 100 06 800.6
(22) Anmeldetag: 15. 2. 2000
(43) Offenlegungstag: 16. 8. 2001

(71) Anmelder:
Leica Microsystems Heidelberg GmbH, 69120
Heidelberg, DE

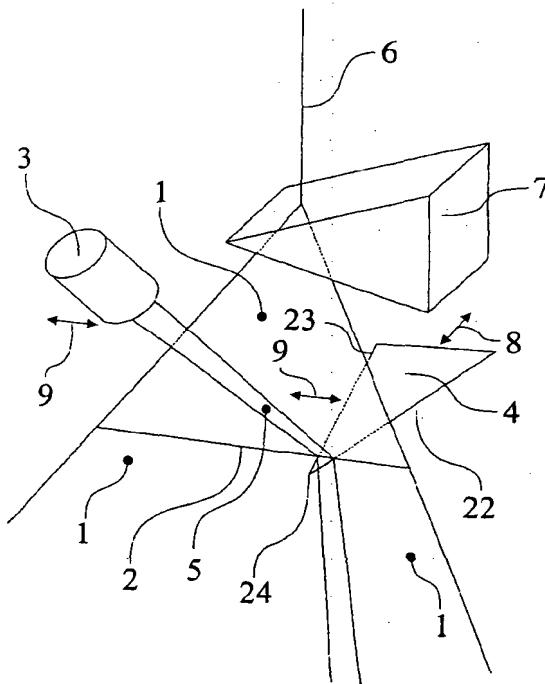
(74) Vertreter:
Ullrich & Naumann, 69115 Heidelberg

(72) Erfinder:
Engelhardt, Johann, Dr., 76669 Bad Schönborn, DE;
Hay, Bill, 64646 Heppenheim, DE; Hoffmann,
Jürgen, Dr., 65191 Wiesbaden, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54) Vorrichtung zur Selektion und Detektion mindestens eines Spektralbereichs eines spektral aufgefächerten Lichtstrahls

55) Eine Vorrichtung zur Selektion und Detektion mindestens eines Spektralbereichs eines spektral aufgefächerten Lichtstrahls (1), vorzugsweise im Strahlengang eines konfokalen Rastermikroskops, wobei der aufgefächerte Lichtstrahl (1) in einer Fokallinie (2) fokussierbar ist, ist zur Überlappungsfreien Detektion des spektral aufgefächerten Lichtstrahls der selektierte Spektralbereich bei einer erhöhten Anzahl von Detektoren und einer fehlertoleranten Anordnung dadurch gekennzeichnet, dass im aufgefächerten Lichtstrahl (1) ein den Lichtstrahl zu einem Detektor (3) reflektierendes und/oder brechendes optisches Bauteil (4) angeordnet ist, dessen optisch wirksamer Bereich sich entlang der Oberfläche verkleinert oder vergrößert, so dass durch Ausrichtung des Bauteils (4) zur Fokallinie (2) und die sich daraus ergebende Überdeckung von Fokallinie (2) und Oberfläche der zum Detektor (3) gelangende Spektralbereich (5) definierbar ist.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Selektion und Detektion mindestens eines Spektralbereichs eines spektral aufgefächerten Lichtstrahls, vorzugsweise im Strahlengang eines konfokalen Rastermikroskops, wobei der aufgefächerte Lichtstrahl in einer Fokallinie fokussierbar ist.

Vorrichtungen der gattungsbildenden Art sind aus der DE 43 30 347 und der DE 199 02 625 bekannt. Diese Vorrichtungen werden vorzugsweise im Strahlengang konfokaler Laserscanning-Mikroskope eingesetzt. Hierbei wird ein das Detektionspinhole passierender Lichtstrahl mit einem dispersiven optischen Bauteil spektral aufgefächert. Ein Teil des spektral aufgefächerten Lichtstrahls kann dann eine erste variabel angeordnete Spiegelblendenanordnung passieren. Der entsprechende spektrale Bereich wird dann von einem Detektor detektiert. Der Anteil des aufgefächerten Lichtstrahls, der auf die erste Spiegelblendenanordnung auftrifft, wird an ihr zu einer weiteren Spiegelblendenanordnung reflektiert. Auch an der weiteren Spiegelblendenanordnung kann ein Teil des ursprünglich reflektierten spektral aufgefächerten Lichtstrahls passieren, der mit einem weiteren Detektor detektiert wird. Der verbleibende Teil wird mit der weiteren Spiegelblendeneinrichtung zu einem dritten Detektor reflektiert.

Vorrichtungen der gattungsbildenden Art weisen mehrere Nachteile auf. Eine spektral exakte Detektion des spektral aufgefächerten Lichtstrahls ist streng genommen nur möglich, wenn der aufgefächerte Lichtstrahl direkt auf eine Fokallinie fokussiert wird, auf der eine Selektion der zu detektierenden Spektralbereiche erfolgt. Vor oder hinter der Fokallinie überlappen die Spektralbereiche des spektral aufgefächerten Lichtstrahls, so dass eine scharfe spektrale Detektion nur eingeschränkt möglich ist. Die aus dem Stand der Technik bekannten Vorrichtungen sehen eine Aufspaltung in die einzelnen Spektralbereiche lediglich in der näheren Umgebung der Fokuslinie vor, wo eine Selektion der zu detektierenden Spektralbereiche im Hinblick auf die spektrale Überlappung noch tolerabel ist. Bei einer höheren Anzahl der zu detektierenden Bereiche ist aufgrund der kaskadierten Detektoranordnung darüber hinaus eine erneute Fokussierung des selektierten Spektralbereichs notwendig, da ansonsten die optischen Wege des divergent verlaufenden Lichtstrahls sich nicht mehr auf einen Detektor mit begrenzter Fläche abbilden lässt. Hierbei ist vor allem die räumliche Anordnung der optischen Komponenten und Detektoren aufgrund der optischen Randbedingungen äußerst problematisch, so dass nur eine begrenzte Anzahl verschiedener Spektralbereiche detektierbar sind. Des Weiteren ist die Fehlertoleranz der Positionierung der optischen Komponenten der bislang bekannten Vorrichtungen aufgrund ihrer kaskadierten Anordnung äußerst gering. So wirkt sich beispielsweise die Dejustage einer ersten im spektral aufgefächerten Lichtstrahl angeordneten Spiegelblende negativ auf sämtliche ihr nachgeordneten Detektoren aus, was deren Detektionseffizienz reduziert.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Selektion und Detektion mindestens eines Spektralbereichs eines spektral aufgefächerten Lichtstrahls, vorzugsweise im Strahlengang eines konfokalen Rastermikroskops, derart auszustalten und weiterzubilden, dass bei der Selektion des spektral aufgefächerten Lichtstrahls die selektierten Spektralbereiche sich nicht überlappen. Darüber hinaus soll eine Detektion mit mehr als die bislang realisierbare Anzahl von Detektoren möglich sein. Auch soll die Fehlertoleranz betreffend der Anordnung der optischen Bauteile erhöht werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung der gattungsgemäßen Art löst die voranstehende Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruchs 1. Danach ist eine solche Vorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass im aufgefächerten Lichtstrahl ein den Lichtstrahl zu einem Detektor reflektierendes und/oder brechendes optisches Bauteil angeordnet ist, dessen optisch wirksamer Bereich sich entlang der Oberfläche verkleinert oder vergrößert, so dass durch Ausrichtung des Bauteils zur Fokallinie und die sich daraus ergebende Überdeckung von Fokallinie und Oberfläche der zum Detektor gelangende Spektralbereich definierbar ist.

Erfindungsgemäß ist zunächst erkannt worden, dass bei einer nicht kaskadiert angeordneten Spiegelblenden- und Detektorvorrichtung die gesamte Vorrichtung erheblich vereinfacht werden kann. Die zusätzliche Fokussierung kann entfallen, da sich die optischen Wege des divergent verlaufenden Lichts um den Anteil reduziert, der für die Kaskadierung der Detektoranordnung vorzusehen ist. Das divergent verlaufende Licht muss dann nicht mehr fokussiert werden, um auf einen Detektor mit einer begrenzten Detektionsfläche abgebildet zu werden. Darauf hinaus kann durch Vermeidung der kaskadierten Detektionsvorrichtung die Fehlertoleranz der Positionierung der optischen Bauteile erhöht werden, da nicht mehr so viele voneinander abhängige optische Komponenten im Strahlengang vorgesehen sind. Das ist für die Toleranzkette der Positionier- und Justiergenauigkeit der einzelnen optischen Bauteile in gleicher Weise von großem Vorteil.

Auf eine kaskadierte Anordnung der optischen Bauteile kann in erfindungsgemäßer Weise durch die besondere Ausrichtung eines reflektierenden und/oder brechenden optischen Bauteils verzichtet werden. Dieses optische Bauteil wird relativ zur Fokallinie des spektral aufgefächerten Lichtstrahls derart angeordnet und ausgerichtet, dass lediglich der sich aus der Überdeckung von Fokallinie und Oberfläche des optischen Bauteils ergebende spektrale Bereich zum Detektor reflektiert und/oder gebrochen wird. Eine Kaskadierung mehrerer hintereinander angeordneter optischer Bauteile kann hierdurch vermieden werden, wodurch in vorteilhafter Weise auf eine zusätzliche Fokussierung des reflektierten bzw. gebrochenen Lichtstrahls verzichtet werden kann.

Das optische Bauteil ist derart ausgestaltet, dass dessen optisch wirksamer Bereich sich entlang seiner Oberfläche verkleinert oder vergrößert. Hierdurch ist entsprechend der Ausrichtung des optischen Bauteils relativ zur Fokallinie der vom optischen Bauteil reflektierte bzw. gebrochene Anteil des spektral aufgefächerten Lichts verkleinerbar bzw. vergrößerbar. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es möglich, die spektrale Selektion mit Hilfe von reflektierenden und/oder brechenden optischen Bauteilen direkt in der Fokallinie durchzuführen, so dass die oben erwähnte spektrale Überlappung, die schon in der näheren Umgebung der Fokallinie auftritt, in vorteilhafter Weise vermieden werden kann.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Oberfläche des optischen Bauteils in ihrem Bereich der Überdeckung mit der Fokallinie stets tangential zur Fokallinie angeordnet. Mit anderen Worten liegt die Fokallinie des spektral aufgefächerten Lichtstrahls stets auf der Oberfläche des optischen Bauteils. Durch diese Anordnung des optischen Bauteils ist eine spektral scharfe Detektion sichergestellt, da so stets in einem Bereich des spektral aufgefächerten Lichtstrahls selektiert wird, bei dem die Spektralbereiche sich nicht überlappen.

In besonders vorteilhafter Weise ist das optische Bauteil beweglich angeordnet, um eine variable Selektion des Spektralbereichs zu ermöglichen.

Die Bewegung des optischen Bauteils könnte entlang einer Richtung erfolgen, so dass sich der wirksame Bereich des optischen Bauteils relativ zur Fokallinie verändert, wodurch sich der zum Detektor gelangende Spektralbereich vergrößert oder verkleinert. Hierdurch kann in vorteilhafter Weise die Anfangs- und Endwellenlänge verändert werden, also die Breite des Spektralbereichs, der zu dem dem optischen Bauteil zugeordneten Detektor gelangt.

Das optische Bauteil könnte in einer zur Fokallinie parallelen Richtung bewegt werden, wodurch der zum Detektor gelangende Spektralbereich veränderbar ist. Durch diese Bewegung kann der selektierte Spektralbereich bei gleichbleibender Breite verändert werden. Letztendlich kann somit die Anfangs- und Endwellenlänge des Spektralbereichs variiert werden, wobei die Differenz von Endwellenlänge zu Anfangswellenlänge, d. h. die spektrale Breite, konstant bleibt. Zur Optimierung der detektierten Signalausbeute ist vorgesehen, dass bei einer Bewegung des optischen Bauteils in einer zur Fokallinie parallelen Richtung der dem optischen Bauteil zugeordnete Detektor in gleicher Weise bewegt wird.

In besonders vorteilhafter Weise erfolgt die Bewegung des optischen Bauteils sowohl entlang einer Richtung, in der sich der wirksame Bereich des optischen Bauteils relativ zur Fokallinie verändert, als auch in einer zur Fokallinie parallelen Richtung. Hierdurch ist die Breite wie auch die Anfangs- und Endwellenlänge des zu detektierenden Spektralbereichs definierbar, was ganz besonders flexible Anwendungsmöglichkeiten eröffnet.

Wenn zur Selektion mehrerer Spektralbereiche mehrere optische Bauteile verwendet werden, sind die optischen Bauteile derart angeordnet, dass sie sich an der Stelle der Fokallinie berühren. Diese Anordnung ermöglicht eine lückenlose Detektion des spektral aufgefächerten Lichtstrahls mit mehreren Detektoren.

Alternativ hierzu könnte auch entlang der Fokallinie zwischen zwei optischen Bauteilen einen Zwischenraum verbleiben. Das in diesem Zwischenraum verlaufende Licht würde somit keinem Detektor zugeordnet werden, so dass der entsprechende spektrale Bereich nicht detektiert wird. Insbesondere bei einer fluoreszenzmikroskopischen Anwendung mit einem konfokalen Laserscanning-Mikroskop wäre ein solcher Zwischenraum an der Stelle der Anregungswellenlänge einer Laserlichtquelle vorgesehen, da lediglich das Fluoreszenzlicht von Interesse ist bzw. detektiert wird.

In einer alternativen Ausführungsform könnte das in einem Zwischenraum verlaufende Licht von einem Detektor detektiert werden, der diesem Zwischenraum zugeordnet ist. Diese Maßnahme könnte vor allem die räumliche Anordnung mehrerer Detektoren erleichtern, insbesondere dann, wenn die verwendeten optischen Bauteile reflektierend ausgeführt sind. Der einem Zwischenraum zugeordnete Detektor könnte somit jenseits der Fokallinie in Ausbreitungsrichtung des spektral aufgefächerten Lichtstrahls angeordnet sein, wohingegen die den reflektiert ausgeführten optischen Bauteilen zugeordneten Detektoren in Richtung des reflektierten Lichts angeordnet werden können. Die Anordnung der Detektoren, die verglichen zur Ausdehnung der Fokallinie groß sind, kann hierdurch über einen großen Raumwinkelbereich erfolgen.

Hinsichtlich der durch die Fokallinie und den Hauptstrahl des einfallenden Lichts aufgespannte Fokalebene könnten die optischen Bauteile von beiden Seiten der Fokalebene eingebettet werden. So wäre eine Gruppierung mehrerer nebeneinander angeordneter optischer Bauteile denkbar, die von der einen Seite der Fokalebene angeordnet und ausgerichtet werden. Eine weitere Gruppierung mehrerer nebeneinander angeordneter optischer Bauteile könnte dement-

sprechend von der anderen Seite der Fokalebene angeordnet werden, so dass die optischen Bauteile einer Seite der Fokalebene einen ggf. kontinuierlichen Spektralbereich überdecken können. In einer alternativen Ausführungsform hierzu ist eine abwechselnde Anordnung der optischen Bauteile vorgesehen, so dass entlang der Fokallinie ein optisches Bauteil von der einen Seite der Fokalebene angeordnet ist, dem ein optisches Bauteil benachbart ist, das von der anderen Seite der Fokalebene angeordnet ist.

- 10 In einer konkreten Ausführungsform weist das optische Bauteil eine ebene Oberfläche auf. Zur Verkleinerung bzw. Vergrößerung des optisch wirksamen Bereichs entlang der Oberfläche des optischen Bauteils sind dessen Kanten verjüngend ausgebildet. Die hierdurch festgelegte Oberflächenform würde dann beispielsweise einem Trapez entsprechen. Die Kanten des optischen Bauteils könnten sich in einem Kantenschnittpunkt treffen, wodurch die Oberfläche des optischen Bauteils die Form eines Dreiecks aufweisen würde.
- 15 Die optischen Bauteile sind in einer konkreten Ausführungsform derart bewegbar angeordnet, dass die Kantschnittpunkte mehrerer nebeneinander angeordneter optischer Bauteile sich in einer Grundeinstellung im wesentlichen in einem Punkt treffen. Aus dieser Grundeinstellung heraus könnte dann die sukzessive Anordnung der einzelnen optischen Bauteile relativ zur Fokallinie erfolgen. Die Bewegung eines optischen Bauteils kann aus Platzgründen eine Bewegung anderer optischer Bauteile nach sich ziehen.
- 20 Als Form eines optischen Bauteils könnte ein Keil, eine Pyramide, ein Tetraeder oder ein Obelisk vorgesehen sein.
- 25 Eine Verwendung von optischen Bauteilen unterschiedlicher Formen wäre ebenfalls denkbar.
- 30 Das optische Bauteil könnte als Prisma oder als Lichtsampler ausgeführt sein, dass das auf seine Oberfläche auftreffende Licht bricht. Hierbei ist die Form des Prismas wie auch dessen Brechungsindex derart gewählt, dass die Brechung des auf seiner Oberfläche auftreffenden Lichts möglichst effizient erfolgt, d. h. eine minimale Reflexion aufweist. Als Lichtsammler könnte bspw. ein trichterförmig ausgestalteter Plexiglasblock dienen, ganz allgemein kann es sich hierbei um Lichtleiter handeln.

Das vom Prisma oder vom Lichtsampler gebrochene Licht wird durch total interne Reflexion zum Detektor geleitet. Der Detektor kann hierbei direkt mit dem optischen Bauteil verbunden sein, so dass eine unmittelbare Detektion des gebrochenen Lichts erfolgen kann. Zur Begünstigung der total internen Reflexion des Prismas bzw. des Lichtsammlers weist das optische Bauteil zumindest teilweise verspiegelte Außenflächen auf.

In einer alternativen Ausführungsform ist das optische Bauteil als Spiegel ausgeführt, der das auf seiner Oberfläche auftreffende Licht reflektiert. Der Spiegel könnte bspw. aus einem keilförmigen Bauteil bestehen, auf dessen Oberfläche eine Spiegelschicht aufgebracht ist. Wenn die Oberfläche des Spiegels eben ausgeführt ist, erfolgt die Bewegung des Bauteils relativ zur Fokallinie stets in einer Richtung, die in der Ebene der Spiegeloberfläche liegt.

In einer alternativen Ausführungsform weist der Spiegel eine zylindrische Oberfläche auf. Hierbei könnte das optische Bauteil die Form eines schräg abgeschnittenen Kreiszylinders oder die eines Zylinderabschnitts aufweisen. Der entsprechende Zylinderabschnitt ist hierbei mit einer reflektierenden Oberfläche versehen, so dass der optisch wirksame Bereich dieses Zylinderabschnitts entlang seiner Oberfläche verkleinert bzw. vergrößert ausgebildet ist.

Die zylinderförmigen optischen Bauteile sind auf einer Achse geführt, die parallel zur Fokallinie angeordnet ist. Diese Führungsachse fällt mit der Achse eines schräg abge-

schnittenen Kreiszylinders bzw. eines Zylinderabschnitts zusammen. Der Abstand einer Führungsachse der zylinderförmigen optischen Bauteile zur Fokallinie entspricht dem Radius der zylinderförmigen optischen Bauteile. Hierdurch ist gewährleistet, dass die zylinderförmige Oberfläche des optischen Bauteils in ihrem Bereich der Überdeckung mit der Fokallinie stets tangential zur Fokallinie angeordnet sind.

Unter Berücksichtigung der bislang erwähnten unterschiedlichen Anordnungsmöglichkeiten der optischen Bauteile sind bei der Verwendung zylinderförmiger Bauteile mehrere Achsen vorgesehen, auf denen die zylinderförmigen optischen Bauteile geführt sind. Die Abstände der einzelnen Achsen zur Fokallinie können unterschiedlich sein.

Durch die Drehung eines zylinderförmigen optischen Bauteils um seine Achse kann der zum Detektor gelangende Spektralbereich vergrößert oder verkleinert werden. Wenn das zylinderförmige optische Bauteile entlang der Richtung seiner Führungsachse bewegt wird, kann der zum Detektor gelangende Spektralbereich bei gleichbleibender spektraler Breite verändert werden. Eine Überlagerung beider Bewegungsformen eines zylinderförmigen optischen Bauteils – also die Drehung um seine Achse und die Bewegung entlang der Richtung seiner Achse – ermöglicht eine flexible Selektion eines Spektralbereichs, so dass dieser in seiner Breite wie auch in seiner Lage entlang der Fokallinie prinzipiell frei einstellbar ist.

Bezüglich der räumlichen Anordnung der Detektoren ist es vorteilhaft, wenn die Oberflächennormalen der verschiedenen optischen Bauteile am Ort der Fokallinie in unterschiedliche Richtungen zeigen. Dies ist insbesondere bei der Verwendung von als Spiegel ausgeführte optische Bauteile relevant. In diesem Fall ist der einem optischen Bauteil zugeordnete Detektor in Richtung des Hauptstrahls des reflektierten Lichts angeordnet. Hierdurch ist die Anordnung einer großen Anzahl von Detektoren möglich, da durch die Orientierung der Oberflächennormalen der einzelnen optischen Bauteile nahezu der gesamte Raumwinkelbereich quer zur Fokallinie zur Verfügung steht.

Bei der Verwendung zylinderförmiger optischer Bauteile gibt die Anzahl der verwendeten Führungsachsen die unterschiedlichen Richtungen der möglichen Oberflächennormalen vor. In zweckmäßiger Weise könnten die Achsen in unterschiedlichen Abständen zu der Fokallinie angeordnet werden, d. h. die Zylinderoberflächen der Bauteile unterschiedlicher Achsen weisen einen unterschiedlichen Krümmungsradius auf. Zusätzlich könnten entlang der Fokallinie die zylindrischen optischen Bauteile unterschiedlicher Führungsachsen nebeneinander angeordnet sein. In diesem Fall werden die Detektoren direkt benachbarter zylinderförmiger optischer Bauteile in unterschiedlichen Richtungen angeordnet, so dass durch geschickte Anordnung der zylindrischen optischen Bauteile ebenfalls der Einsatz vieler Detektoren möglich ist.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche und andererseits auf die nachfolgende Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung werden auch im allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 eine schematische dreidimensionale Darstellung einer erfindungsgemäßen Ausführungsform,

Fig. 2 eine Draufsicht einer schematischen Darstellung

eines alternativen erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels,

Fig. 3 eine schematische Seitenansicht des Ausführungsbeispiels aus der **Fig. 2**,

Fig. 4 eine schematische Seitenansicht zu dem Ausführungsbeispiel aus den **Fig. 2** und **3**,

Fig. 5 eine schematische Draufsicht des Ausführungsbeispiels aus der **Fig. 2**, bei dem die einzelnen optischen Bauteile unterschiedlich angeordnet sind,

Fig. 6 eine schematische Seitenansicht des Ausführungsbeispiels aus der **Fig. 5**,

Fig. 7 eine schematische Seitenansicht des Ausführungsbeispiels aus den **Fig. 5** und **Fig. 6**,

Fig. 8 eine schematische Darstellung eines alternativen

Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 9 eine schematische Seitenansicht eines konkreten Ausführungsbeispiels gemäß **Fig. 8**,

Fig. 10 in einer schematischen dreidimensionalen Ansicht ein alternatives Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 11 in einer schematischen Darstellung die Draufsicht eines weiteren Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung und

Fig. 12 eine schematische dreidimensionale Seitenansicht eines optischen Bauteils aus der **Fig. 11**.

Die **Fig. 1** zeigt eine Vorrichtung zur Selektion und Detektion mindestens eines Spektralbereichs eines spektral aufgefächerten Lichtstrahls 1 im Strahlengang eines konfokalen Rastermikroskops, wobei der aufgefächerte Lichtstrahl 1 in einer Fokallinie 2 fokussierbar ist.

Erfindungsgemäß ist im aufgefächerten Lichtstrahl 1 ein den Lichtstrahl zu einem Detektor 3 reflektierendes und/oder brechendes optisches Bauteil 4 angeordnet, dessen optisch wirksamer Bereich sich entlang der Oberfläche verkleinert oder vergrößert, so dass durch Ausrichtung des Bauteils 4 zur Fokallinie 2 und die sich daraus ergebende Überdeckung von Fokallinie 2 und Oberfläche der zum Detektor 3 gelangende Spektralbereich 5 definierbar ist. Der **Fig. 1** ist darüber hinaus entnehmbar, dass der einfallende Lichtstrahl 6 von einem im Strahlengang 6 angeordneten Prisma 7 spektral zerlegt wird.

Das optische Bauteil 4 ist derart angeordnet, dass seine Oberfläche in dem Bereich der Überdeckung mit der Fokallinie 2 stets tangential zur Fokallinie 2 ist.

Das optische Bauteil 4 ist beweglich angeordnet. Die Bewegung des optischen Bauteils 4 kann entweder entlang einer Richtung 8 oder entlang einer Richtung 9 erfolgen. Wenn das optische Bauteil 4 entlang der Richtung 8 bewegt wird, verändert sich der wirksame Bereich des optischen Bauteils 4 relativ zur Fokallinie 2. Hierdurch wird der zum Detektor 3 gelangende Spektralbereich 5 vergrößert oder verkleinert. Wenn das optische Bauteil 4 in einer zur Fokallinie 2 parallelen Richtung 9 bewegt wird, kann der zum Detektor 3 gelangende Spektralbereich 5 bei gleichbleibender

Breite hinsichtlich seines Anfangs- bzw. Endpunkts verändert werden.

Wenn das optische Bauteil 4 entlang der Richtung 9 bewegt wird, wird in gleicher Weise der dem optischen Bauteil 4 zugeordnete Detektor 3 bewegt. Diese Bewegung erfolgt ebenfalls entlang der Richtung 9.

Eine alternative Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist den **Fig. 2** und **3** entnehmbar. Mehrere optische Bauteile 12, 13, 14 und 15 sind derart angeordnet, dass sie sich an der Stelle der Fokallinie 2 berühren. Hierdurch ist für den wirksamen Bereich der optischen Bauteile

12, 13, 14 und 15 eine lückenlose Detektion des spektral aufgefächerten Lichtstrahls 1 möglich. In gleicher Weise berühren sich die gestrichelt eingezeichneten optischen Bau-

teile 16, 17, 18, 19 und 20, so dass auch dieser entsprechende spektrale Bereich der Fokallinie 2 lückenlos detektierbar ist. Zwischen dem optischen Bauteil 11 und 12 ist ein Zwischenraum 21 vorgesehen, der nicht von einem optischen Bauteil reflektiert oder gebrochen wird.

Der spektral aufgefächerte Lichtstrahl 1 und die Fokallinie 2 spannen die Fokalebene 10 auf. Der schematischen Seitenansicht aus Fig. 4 ist entnehmbar, dass die optischen Bauteile 11 bis 15 von der einen Seite der Fokalebene 10 eingebracht werden, die optischen Bauteile 16 bis 20 von der anderen Seite der Fokalebene 10 eingebracht werden. In der Fig. 4 sind lediglich die Oberflächen der optischen Bauteile 11 bis 20 angedeutet, die in der Seitenansicht somit als Strecke eingezeichnet sind. Die optischen Bauteile 11 bis 20 aus den Fig. 2, 3 und 4 weisen eine ebene Oberfläche auf.

Den Fig. 1 bis 3 ist entnehmbar, dass die Kanten 22 und 23 des optischen Bauteils 4 verjüngend ausgebildet sind und darüber hinaus sich in einem Kantenschnittpunkt 24 treffen. Das optische Bauteil 4 weist eine dreieckige Oberfläche auf.

Die Fig. 5, 6 und 7 zeigen das Ausführungsbeispiel der Fig. 2, 3 und 4 in einer anderen Einstellung der optischen Bauteile 11 bis 20. Insbesondere der Fig. 5 und 7 ist entnehmbar, dass die Kantenschnittpunkte mehrerer, nebeneinander angeordneter optischer Bauteile 11, 12, 13, 14, 15 sowie 16, 17, 18, 19, 20 sich in einer Grundeinstellung im wesentlichen in einem Punkt 25 treffen. Punkt 25 liegt auf der Fokuslinie 2, so dass in diesem Fall kein Anteil des spektral aufgefächerten Lichtstrahls 1 zu einem der den optischen Bauteilen 11 bis 20 zugeordneten Detektoren gelangt. Diese Grundeinstellung wird in diesem Ausführungsbeispiel zur spektralen Kalibrierung der Bauteile 11 bis 20 verwendet.

Die Form der optischen Bauteile 11 bis 20 ist als Keil ausgeführt, in den Fig. 2 bis 7 sind jedoch lediglich die Oberflächen der einzelnen keilförmigen optischen Bauteile eingezeichnet.

In der Fig. 8 ist ein alternatives Ausführungsbeispiel gezeigt. Das optische Bauteil ist hierbei als Prisma 26 ausgeführt. Das auf seiner Oberfläche austreffende Licht 1 wird von dem Prisma 26 gebrochen. Durch total interne Reflexion an der verspiegelten Außenfläche 27 wird das so gebrochene Licht zu dem dem Prisma 26 zugeordneten Detektor 3 geleitet. In der Fig. 9 ist eine Seitenansicht eines Ausführungsbeispiels mit mehreren pyramidenförmigen Prismen gezeigt.

Die Fig. 10 zeigt einen aus Plexiglas bestehenden Lichtsampler 26, der direkt mit dem ihm zugeordneten Detektor 3 verbunden ist. Auch bei dem Lichtsampler 26 wird das auf seine Oberfläche auftreffende Licht gebrochen und durch total interne Reflexion zum Detektor 3 geleitet.

Im Gegensatz hierzu sind die optischen Bauteile 11 bis 20 als Spiegel ausgeführt, die das auf ihre Oberfläche auftreffende Licht zu den ihnen zugeordneten Detektoren 28 bis 37 reflektieren. Dies ist der Fig. 4 entnehmbar.

Die Fig. 11 zeigt eine Draufsicht eines alternativen Ausführungsbeispiels. Hierbei sind die optischen Bauteile 38 bis 43 als Spiegel ausgeführt, die eine zylindrische Oberfläche aufweisen. Bei den optischen Bauteilen 38 bis 43 handelt es sich um Zylinderabschnitte, deren Zylinderabschnittsmantel mit einer verspiegelten Oberfläche versehen ist.

Das optische Bauteil 38 ist in der schematischen dreidimensionalen Ansicht der Fig. 12 gezeigt. Bei dem Zylinderabschnitt handelt es sich lediglich um ein beidseitig schräg abgeschnittenes Zylindersegment. Bezuglich seiner Symmetriefläche 44 weist der Zylinderabschnitt zwei ebene Flächen auf, die jeweils in einem Winkel α von 10° zur Symmetriefläche 44 verlaufen und sich in einer gemeinsamen Strecke, ebenfalls in der Symmetriefläche 44, treffen. Die

verspiegelte Oberfläche 45 des Zylinderabschnitts 38 weist in der Symmetriefläche 44 den Radius 46 auf. Für das optische Bauteil 38 ist ein Befestigungsmittel 49 vorgesehen, das eine Führungsbohrung 50 aufweist. Das gesamte Bauteil 49, 38 ist über die Führungsbohrung 50 drehbar und verschiebbar relativ zu der nicht in der Fig. 12 eingezeichneten Achse 47 angeordnet.

Der Fig. 11 ist entnehmbar, dass die zylinderförmigen optischen Bauteile 38, 40 und 42 auf der Achse 47 geführt sind. Die zylinderförmigen optischen Bauteile 39, 41 und 43 sind auf der Führungssachse 48 geführt. Die zylinderförmigen optischen Bauteile können bezüglich ihrer Achse 47 bzw. 48 in die Richtungen 51 gedreht werden, wodurch der zum Detektor gelangende Spektralbereich jeweils vergrößerbar oder verkleinerbar ist. Darüber hinaus sind die zylinderförmigen optischen Bauteile entlang der Richtung 9 ihrer Führungssachse 47 bzw. 48 bzw. parallel zur Fokuslinie 2 bewegbar, wodurch der zum Detektor gelangende Spektralbereich bei gleicher Breite veränderbar ist.

Den Fig. 4 und 7 kann entnommen werden, dass die Oberflächennormalen der verschiedenen optischen Bauteile 11 bis 20 am Ort der Fokallinie 2 in unterschiedliche Richtungen zeigen. Dementsprechend ist in Fig. 4 gezeigt, dass die unterschiedlichen spektralen Bereiche der Fokallinie 2 des einfallenden Lichtstrahls 1 in unterschiedliche Richtungen zu den Detektoren 28 bis 37 reflektiert werden. Die Detektion mit den Detektoren 28 bis 37 erfolgt hierbei simultan.

Schließlich sei angemerkt, daß die voranstehend erörterten Ausführungsbeispiele zum Verständnis der beanspruchten Lehre beitragen, diese jedoch nicht auf die Ausführungsbeispiele einschränken.

Bezugszeichenliste

- 35 1 spektral aufgefächterter Lichtstrahl
- 2 Fokallinie
- 3 Detektor
- 4 optisches Bauteil
- 40 5 Spektralbereich
- 6 einfallender Lichtstrahl
- 7 Prisma
- 8 Bewegungsrichtung quer zu (2)
- 9 Bewegungsrichtung entlang (2)
- 45 10 Fokalebene
- 11-20 optische Bauteile
- 21 Zwischenraum zwischen (11) und (12)
- 22 Kante von (4)
- 23 Kante von (4)
- 50 24 Kantenschnittpunkt von (22) und (23)
- 25 Treffpunkt der (24) von (11) bis (20)
- 26 Prisma, Lichtsampler
- 27 verspiegelte Fläche von (26)
- 28-37 Detektoren von (11) bis (20)
- 55 38-43 Spiegel mit zylindrischer Oberfläche
- 44 Symmetriefläche von (38)
- 45 verspiegelte Oberfläche von (38)
- 46 Radius von (45) in (44)
- 47 Achse von (38), (40) und (42)
- 60 48 Achse von (39), (41) und (43)
- 49 Befestigungsmittel von (38)
- 50 Führungsbohrung
- 51 Drehrichtung von (40) bis (43)

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Selektion und Detektion mindestens eines Spektralbereichs eines spektral aufgefächterten Lichtstrahls, die aus einem Lichtstrahl 1, der auf einer Fokallinie 2 fällt, besteht, bestehend aus:
 - a) einer Gruppe von optischen Bauteilen 11 bis 20, die auf der Fokallinie 2 aufgefasert sind, wobei die optischen Bauteile 11 bis 15 von einer Seite der Fokallinie 2 und die optischen Bauteile 16 bis 20 von der anderen Seite der Fokallinie 2 eingebracht werden;
 - b) einer Gruppe von Detektoren 28 bis 37, die auf der Fokallinie 2 angeordnet sind;
 - c) einer Gruppe von Führungssachsen 47, die auf der Fokallinie 2 angeordnet sind;
 - d) einer Gruppe von Befestigungsmitteln 49, die auf den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie auf den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - e) einer Gruppe von Führungsböhrungen 50, die in den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie in den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - f) einer Gruppe von Führungssachsen 48, die auf den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - g) einer Gruppe von Führungsböhrungen 51, die in den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - h) einer Gruppe von Führungssachsen 9, die auf den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie auf den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - i) einer Gruppe von Führungsböhrungen 10, die in den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie in den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - j) einer Gruppe von Führungssachsen 11, die auf den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie auf den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - k) einer Gruppe von Führungsböhrungen 12, die in den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie in den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - l) einer Gruppe von Führungssachsen 13, die auf den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie auf den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - m) einer Gruppe von Führungsböhrungen 14, die in den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie in den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - n) einer Gruppe von Führungssachsen 15, die auf den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie auf den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - o) einer Gruppe von Führungsböhrungen 16, die in den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie in den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - p) einer Gruppe von Führungssachsen 17, die auf den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie auf den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - q) einer Gruppe von Führungsböhrungen 18, die in den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie in den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - r) einer Gruppe von Führungssachsen 19, die auf den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie auf den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - s) einer Gruppe von Führungsböhrungen 20, die in den optischen Bauteilen 38, 40 und 42 sowie in den optischen Bauteilen 39, 41 und 43 angeordnet sind;
 - t) einer Gruppe von Führungssachsen 21, die zwischen dem optischen Bauteil 11 und dem optischen Bauteil 12 angeordnet ist;
 - u) einer Gruppe von Führungsböhrungen 22, die in dem optischen Bauteil 11 angeordnet ist;
 - v) einer Gruppe von Führungssachsen 23, die in dem optischen Bauteil 12 angeordnet ist;
 - w) einer Gruppe von Führungsböhrungen 24, die in dem optischen Bauteil 21 angeordnet ist;
 - x) einer Gruppe von Führungssachsen 25, die auf dem optischen Bauteil 24 angeordnet ist;
 - y) einer Gruppe von Führungsböhrungen 26, die in dem optischen Bauteil 25 angeordnet ist;
 - z) einer Gruppe von Führungssachsen 27, die auf dem optischen Bauteil 26 angeordnet ist;

cherten Lichtstrahls (1), vorzugsweise im Strahlengang eines konfokalen Rastermikroskops, wobei der aufgefächerte Lichtstrahl (1) in einer Fokallinie (2) fokusierbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass im aufgefächerten Lichtstrahl (1) ein den Lichtstrahl zu einem Detektor (3) reflektierendes und/oder brechendes optisches Bauteil (4) angeordnet ist, dessen optisch wirksamer Bereich sich entlang der Oberfläche verkleinert oder vergrößert, so dass durch Ausrichtung des Bauteils (4) zur Fokallinie (2) und die sich daraus ergebende Überdeckung von Fokallinie (2) und Oberfläche der zum Detektor (3) gelangende Spektralbereich (5) definierbar ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche des optischen Bauteils (4) in ihrem Bereich der Überdeckung mit der Fokallinie (2) stets tangential zur Fokallinie (2) angeordnet ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil (4) beweglich angeordnet ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegung des optischen Bauteils (4) entlang einer Richtung (8) erfolgt, so dass sich der wirksame Bereich des optischen Bauteils (4) relativ zur Fokallinie (2) verändert, wodurch sich der zum Detektor (3) gelangende Spektralbereich (5) vergrößert oder verkleinert.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil (4) in einer zur Fokallinie (2) parallelen Richtung (9) bewegbar ist, wodurch der zum Detektor (3) gelangende Spektralbereich (5) veränderbar ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Bewegung des optischen Bauteils (4) in einer zur Fokallinie (2) parallelen Richtung (9) der dem optischen Bauteil (4) zugeordnete Detektor (3) in gleicher Weise bewegt wird.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere optische Bauteile (12, 13, 14, 15) derart angeordnet sind, dass sie sich an der Stelle der Fokallinie (2) berühren, so dass eine lückenlose Detektion des spektral aufgefächerten Lichtstrahls (1) möglich ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass entlang der Fokallinie (2) zwischen zwei optischen Bauteilen (11, 12) ein Zwischenraum (21) verbleibt.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das in diesem Zwischenraum (21) verlaufende Licht von einem dem Zwischenraum (21) zugeordneten Detektor detektierbar ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Bauteile (11, 12, 13, 14, 15; 16, 17, 18, 19, 20) von beiden Seiten der die durch die Fokallinie (2) und den Hauptstrahl des einfallenden Lichts aufgespannten Fokalebene (10) eingebracht werden.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil (4) eine ebene Oberfläche aufweist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanten (22, 23) des optischen Bauteils (4) verjüngend ausgebildet sind.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanten (22, 23) des optischen Bauteils (4) sich in einem Punkt (24) treffen.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil (4) eine drei-

eckige Oberfläche aufweist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Kantenschnittpunkte (24) mehrerer, nebeneinander angeordneter optischer Bauteile (12, 12, 13, 14, 15; 16, 17, 18, 19, 20) in einer Grundeinstellung sich im wesentlichen in einem Punkt (25) treffen.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Form eines optischen Bauteils (4) als Keil, Pyramide, Tetraeder oder als Obelisk ausgeführt ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil (4) als Prisma oder als Lichtsampler ausgeführt ist, das auf seine Oberfläche auftreffende Licht bricht.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das vom Prisma (26) oder Lichtsammler gebrochene Licht durch total interne Reflexion zu einem Detektor (3) geleitet wird.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die total interne Reflexion des Prismas (26) oder des Lichtsammlers durch zumindest teilweise verspiegelte Außenflächen (27) begünstigt ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil (4) als Spiegel ausgeführt ist, der das auf seine Oberfläche auftreffende Licht reflektiert.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Spiegel eine zylindrische Oberfläche aufweist.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil die Form eines schräg abgeschnittenen Kreiszylinders aufweist.

23. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil (38, 39, 40, 41, 42, 43) die Form eines Zylinderabschnitts aufweist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, dass die zylinderförmigen optischen Bauteile auf mindestens einer parallel zur Fokallinie (2) angeordneten Achse (47, 48) geführt sind.

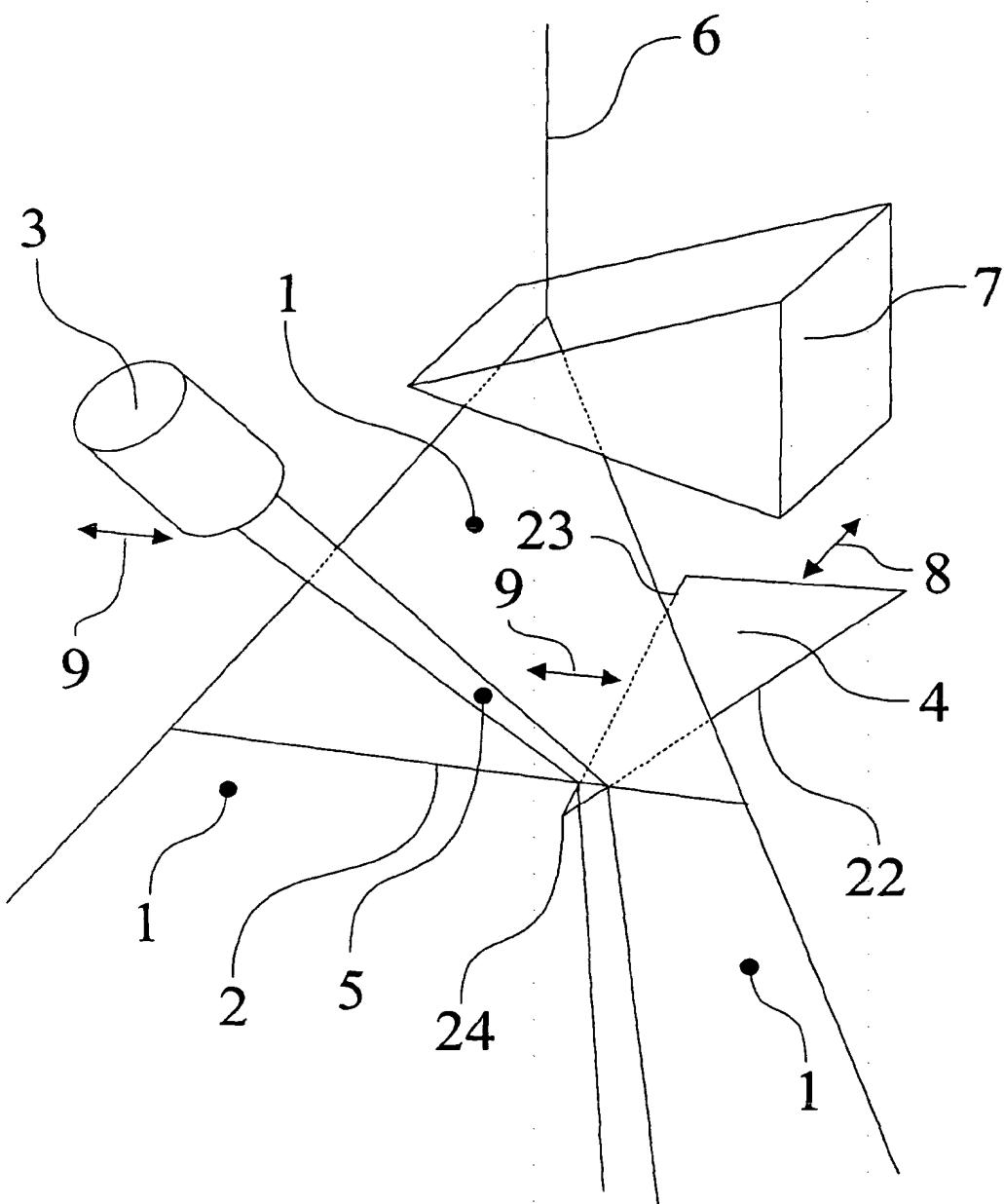
25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass durch Drehung der zylinderförmigen optischen Bauteile (38, 39, 40, 41, 42, 43) um ihre Achse (47, 48) der zum Detektor gelangende Spektralbereich vergrößerbar oder verkleinerbar ist.

26. Vorrichtung nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, dass durch Bewegung der zylinderförmigen optischen Bauteile (38, 39, 40, 41, 42, 43) entlang der Richtung ihrer Achse (47, 48) der zum Detektor gelangende Spektralbereich veränderbar ist.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächennormale verschiedener optischer Bauteile (11, 12, 13, 14, 15; 16, 17, 18, 19, 20) am Ort der Fokallinie (2) in unterschiedliche Richtungen zeigen.

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass der einem optischen Bauteil (11, 12, 13, 14, 15; 16, 17, 18, 19, 20) zugeordnete Detektor (28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37) in Richtung des Hauptstrahls des reflektierten Lichts angeordnet ist.

29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektion mehrerer Detektoren (28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37) simultan erfolgt.

**Fig. 1**

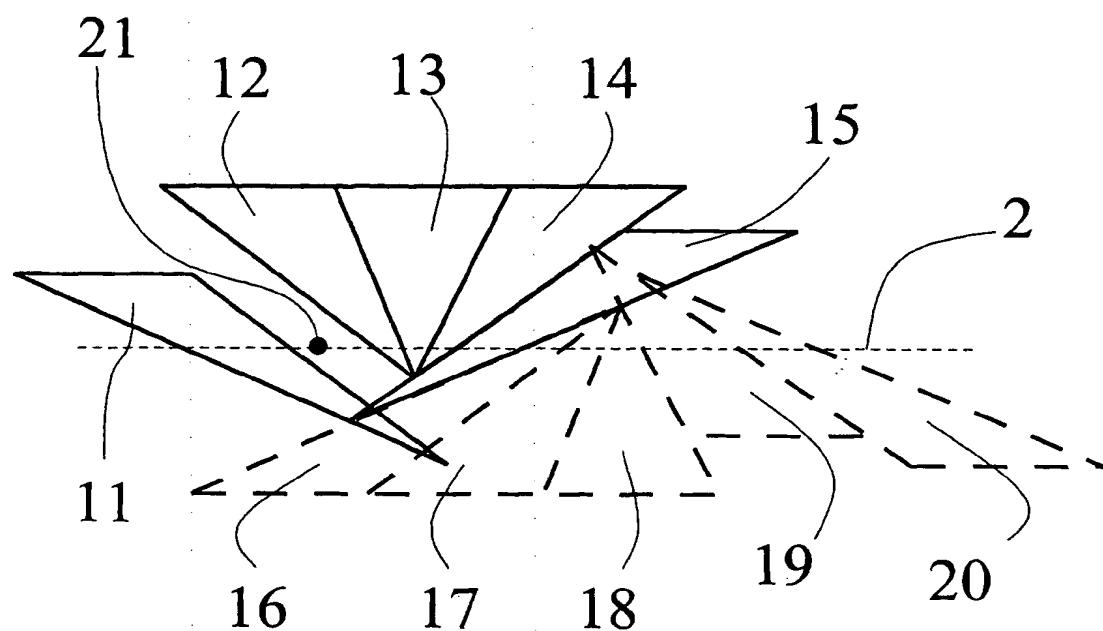


Fig. 2

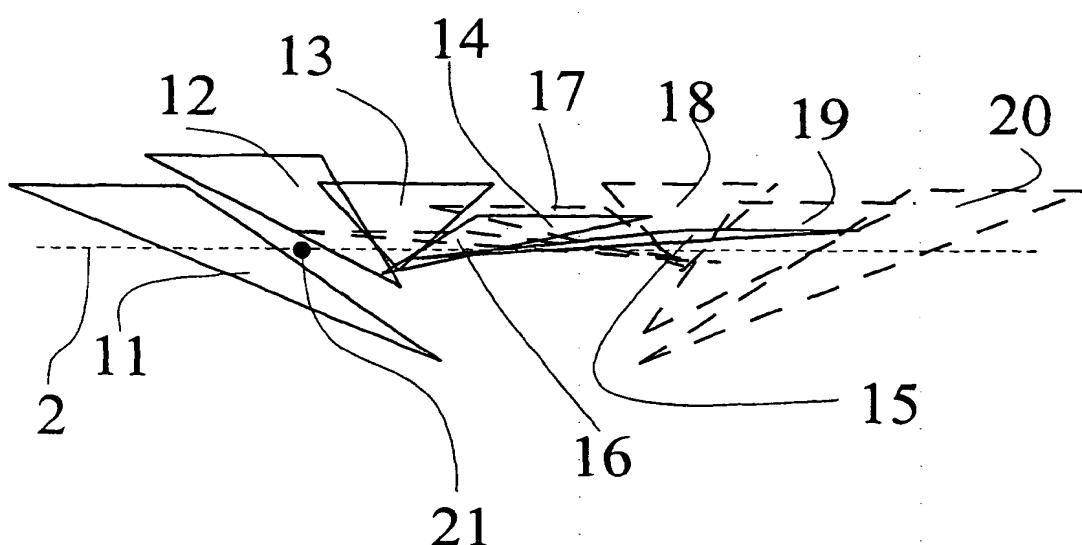


Fig. 3

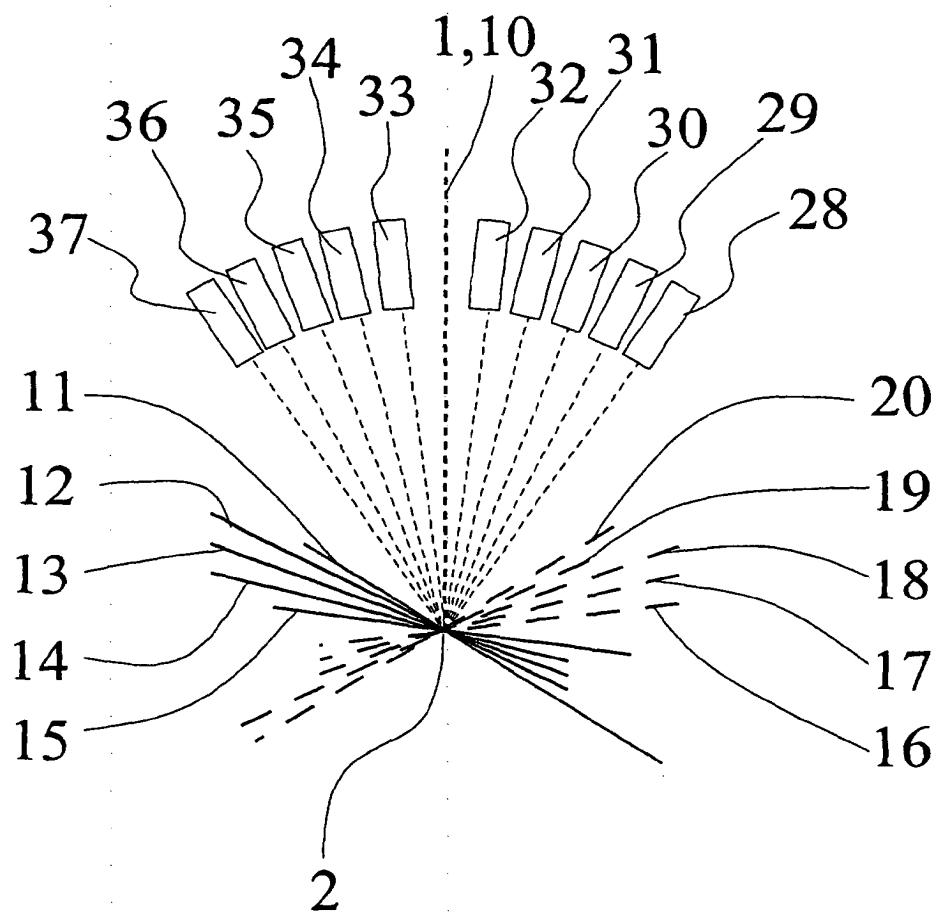


Fig. 4

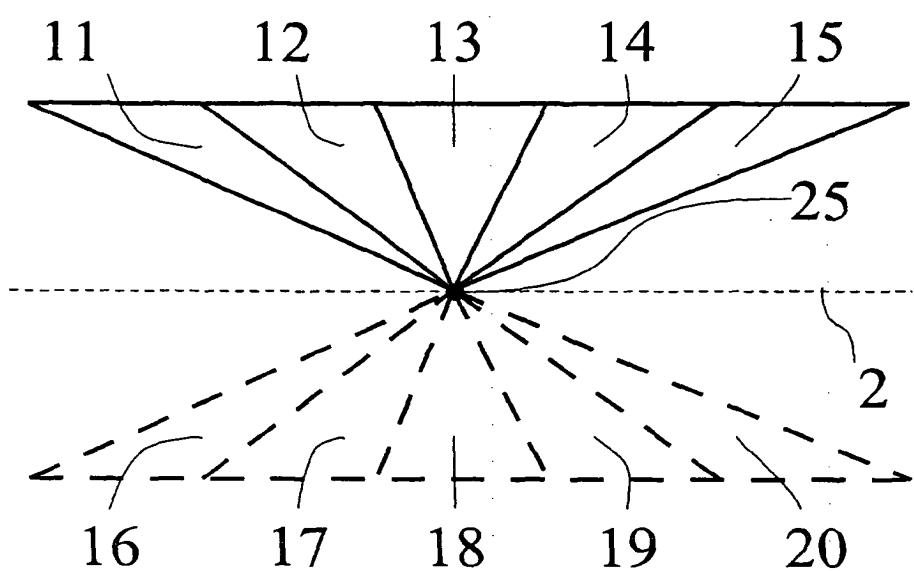


Fig. 5

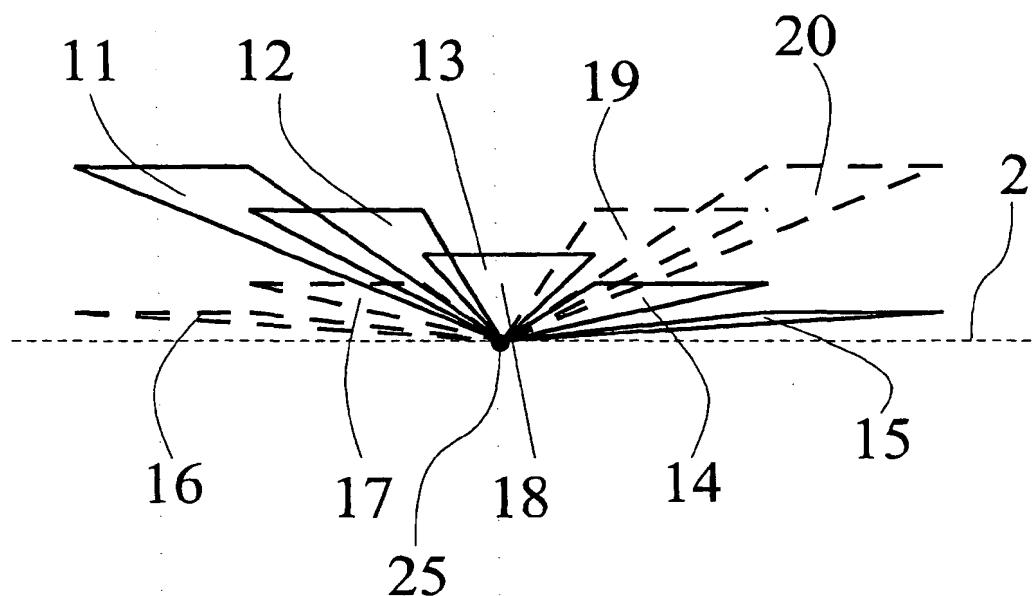


Fig. 6

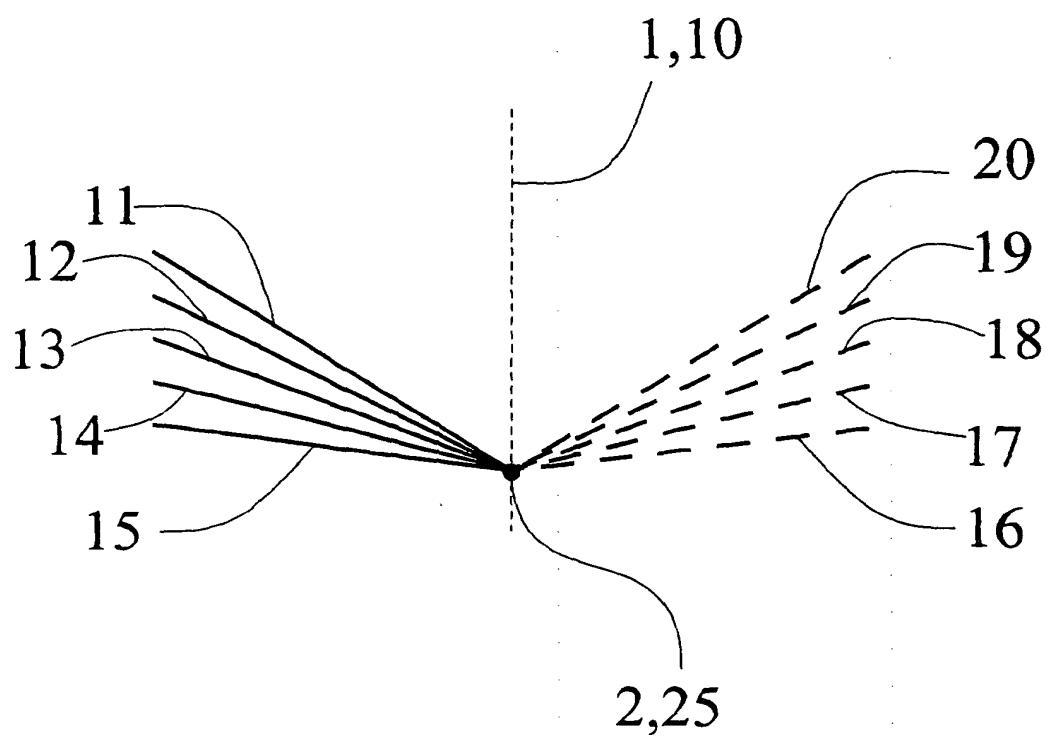


Fig. 7

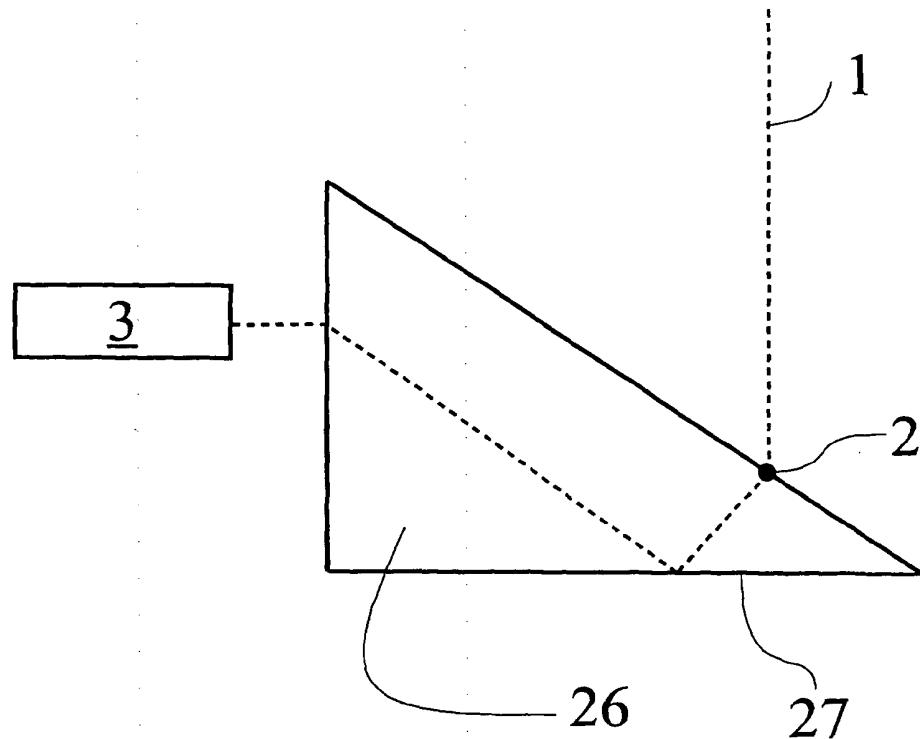


Fig. 8

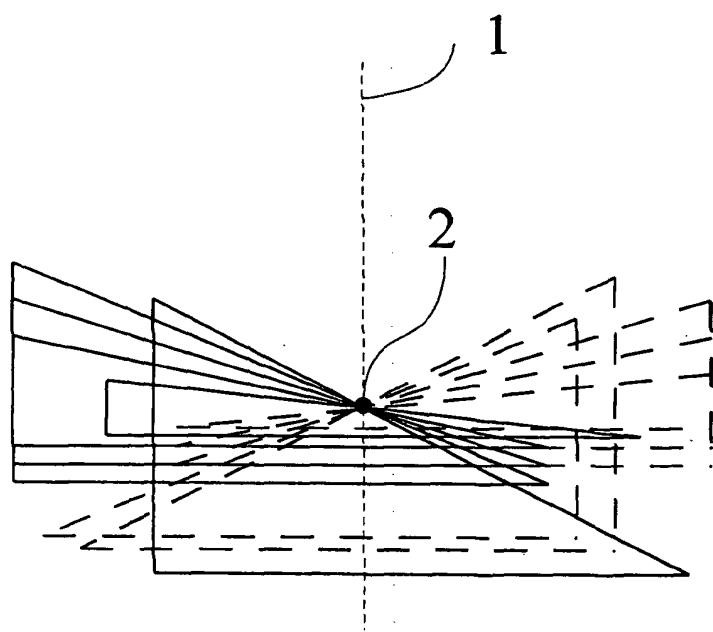


Fig. 9

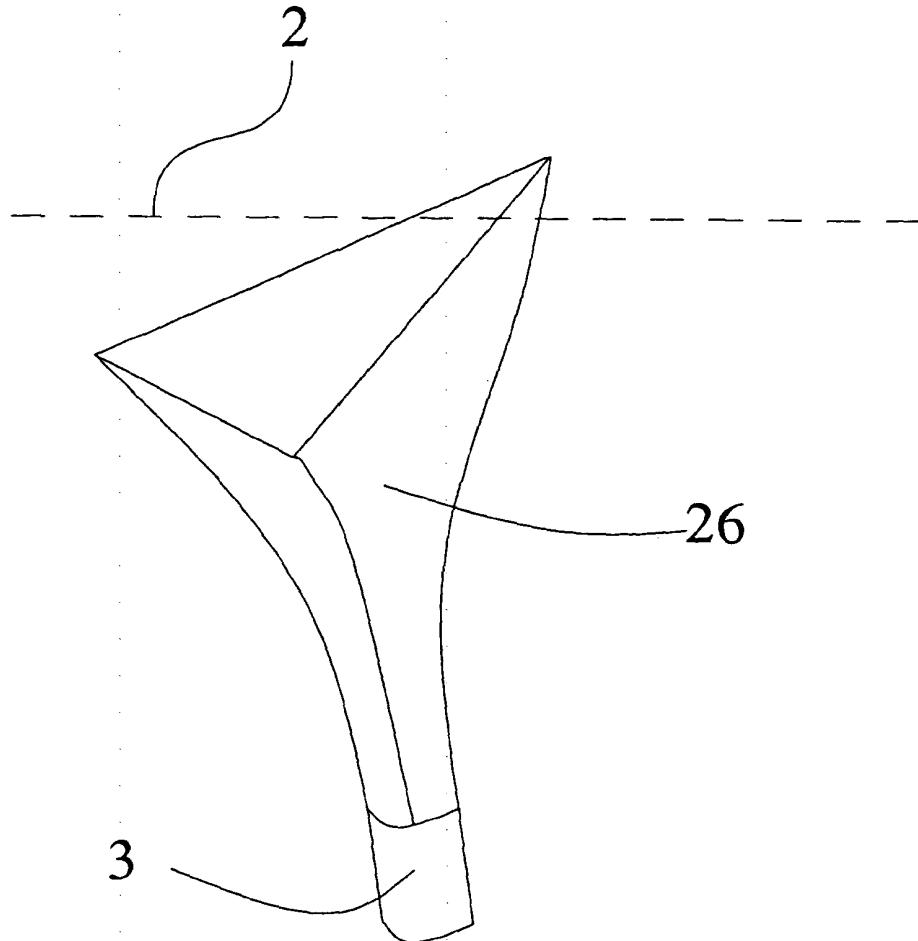
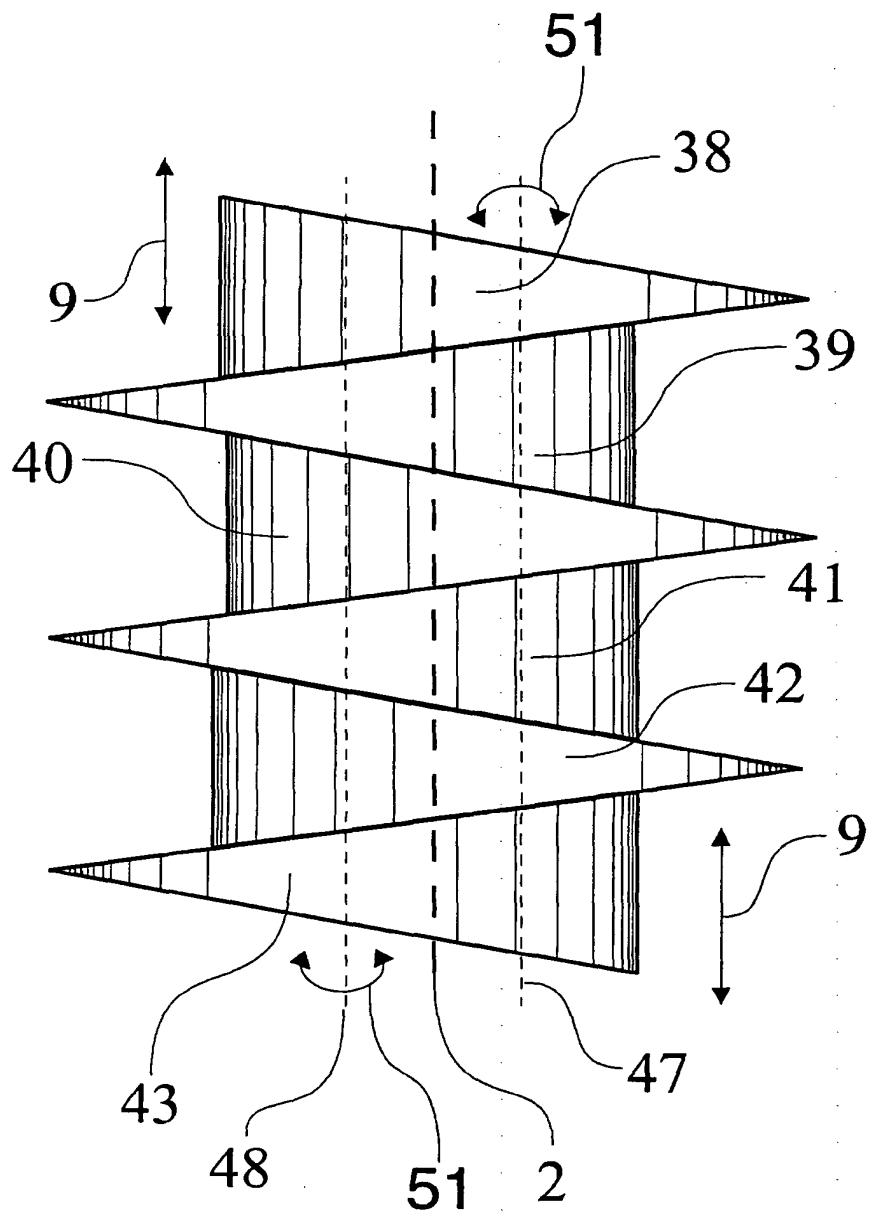


Fig. 10

**Fig. 11**

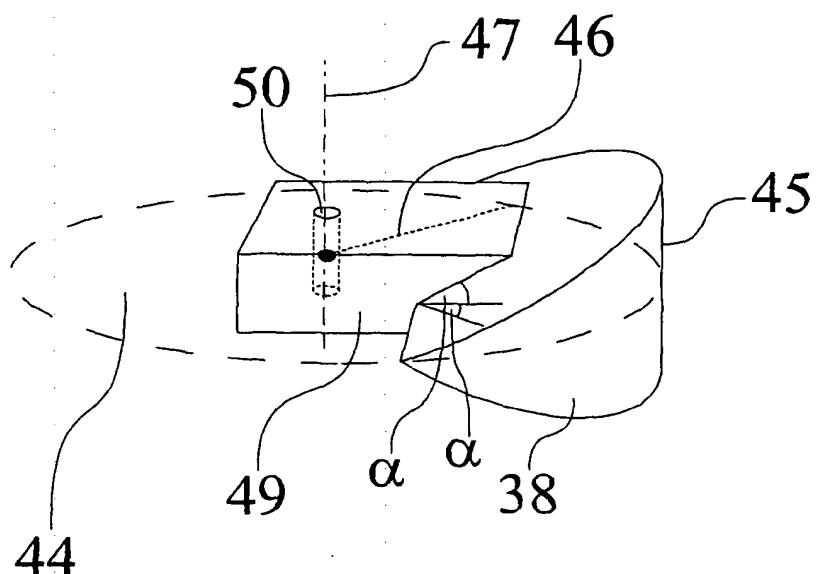


Fig. 12

Apparatus for selecting and detecting at least one spectral region of a spectrally spread light beam

Patent Number: US2002109079

Publication date: 2002-08-15

Inventor(s): ENGELHARDT JOHANN (DE); HAY WILLIAM C (DE); HOFFMANN JUERGEN (DE)

Applicant(s): LEICA MICROSYS HEIDELBERG GMBH (US)

Requested Patent: DE10006800

Application Number: US20010783220 20010215

Priority Number(s): US20010783220 20010215; DE20001006800 20000215

IPC Classification: G01J3/50; H01J5/16; H01J40/14

EC Classification: G01J3/32, G02B21/00M4A

Equivalents: EP1126257, JP2001272275, US6483103

Abstract

An apparatus for selecting and detecting at least one spectral region of a spectrally spread light beam, preferably in the beam path of a confocal scanning microscope, the spread light beam being focussable in a focal line, is characterized, for non-overlapping detection of the spectrally spread light beam of the selected spectral regions in the context of an increased number of detectors and an error-tolerant arrangement, in that there is arranged in the spread light beam an optical component which reflects and/or refracts the light beam to a detector and whose optically effective region becomes smaller or larger along the surface, so that by orientation of the component with respect to the focal line and the resulting superposition of the focal line and surface, the spectral region arriving at the detector is definable

Data supplied from the esp@cenet database - I2

